

法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

金属ストリップを装荷した埋め込み型Si細線導波路 における偏波変換器

著者	佐々木 陽太
出版者	法政大学大学院理工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	60
ページ	1-3
発行年	2019-03-31
URL	http://doi.org/10.15002/00022018

金属ストリップを装荷した 埋め込み型 Si 細線導波路における偏波変換器

POLARIZATION CONVERTER IN A BURIED SI-WIRE WAVEGUIDE LOADED WITH A METAL STRIP

佐々木 陽太

Yota SASAKI

指導教員 山内 潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

A polarization converter with a metal strip is developed in a buried waveguide with a rectangular core. The eigenmode analysis reveals that the insertion loss is mainly due to the field mismatch of the TM mode at the connection between the input (output) and conversion waveguides. It is found that the transition loss of the TM mode decreases, as the aspect ratio of the core is increased, leading to a reduction in the insertion loss.

Key Words : Beam-propagation method, Finite-difference time-domain method, Waveguide polarization converter, Metal strip

1. はじめに

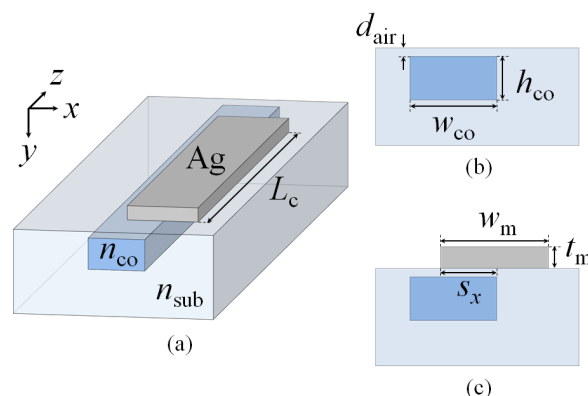
偏波無依存回路に用いられる導波路型の偏波変換器には、様々な提案がなされているが、導波路断面の非対称性に基づくハイブリッドモードを利用しているものが多い。例えば、導波路コアの一部を欠損させた変換器がある [1]-[3]。これらは、広い動作帯域、低い挿入損で偏波変換が行える。しかしながら、コアを欠損させる必要があるため、微細な加工が要求される。

そこで、金属ストリップをコア近傍に装荷した変換器が検討されている [4]-[5]。これらは、金属ストリップをコアに対して非対称な位置に装荷することでハイブリッドモードを発生させており、コアの断面形状に何ら変形を加えることなく、偏波変換を達成できる長所がある。

他方、筆者らは、Si 細線導波路のコアを空気界面からわずかに埋め込むと、屈曲損が低減できることを明らかにしてきた [6]。本稿では、コアを空気界面からわずかに埋め込んだ導波路において、金属ストリップを空気界面に配置した簡易な偏波変換器を提案する [7]-[9]。解析には、Yee 格子に基づく虚軸ビーム伝搬法 (YM-BPM) および台形則に基づく Recursive Convolution (TRC) 法を適用した有限差分時間領域 (FDTD) 法を用いる。

2. 本論

検討する構造を図 1 に示す。コアとクラッドの屈折率をそれぞれ、 $n_{co} = 3.476$ (Si), $n_{sub} = 1.444$ (SiO₂) とし、コア幅 $w_{co} = 400$ nm, 高さ $h_{co} = 220$ nm の導波路を考察する。金属ストリップには Ag を使用し、Drude 分散性媒質として扱う。金属ストリップの厚み、長さ



(a) 鳥瞰図 (b) 入出力部断面 (c) 変換部断面

図 1 構造

は、一定以上に設定することで金属に局在する界が減少し、損失が低下する。予備的な計算に基づき、金属ストリップの幅を $w_m = 500$ nm, 厚みを $t_m = 100$ nm に設定する。特性を決定する重要なパラメータである、コアの埋め込み深さを $d_{air} = 40$ nm, コアと金属が重なる幅を $s_x = 260$ nm に設定する。このとき、変換部長は $L_c = 3.64 \mu\text{m}$ となる。

図 2 に、消光比と挿入損の波長特性を示す。本論文では一例として、TE モードを入射し、TM モードに偏波を変換する場合を取り上げる。設計中心波長である $1.55 \mu\text{m}$ 付近において、20 dB 以上の消光比が得られている。このことから、埋め込み導波路の上部に金属ストリップを配置するのみで偏波変換が達成できること

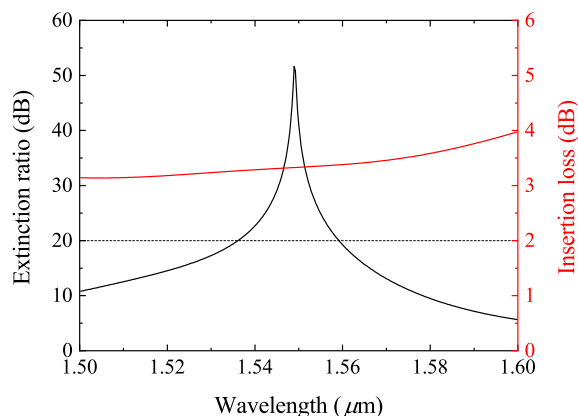


図2 消光比と挿入損の波長特性

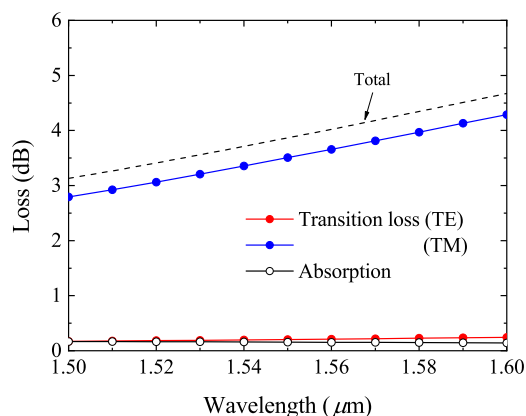


図3 遷移損と吸収損の波長特性

が理解される。しかし、挿入損はこの帯域において 3 dB 以上と大きい。損失の要因としては、金属ストリップにおける吸収損と入出力導波路と変換器の接続部における遷移損が考えられる。

次に、固有モード解析を用いて挿入損の原因を考察する。入出力導波路との接続部で生じる遷移損と、金属ストリップにおける吸収損の波長特性を図3に示す。遷移損と吸収損の合計を破線で併記している。図より、TE と TM モードの遷移損が大きく異なることがわかる。特に、TM モードでは、遷移損が顕著に発生している。これは、TM モードの界成分がコア下部のクラッドに大きく広がっていることに起因する。一方、吸収損に着目すると、どの波長においても 0.2 dB 以下に抑えられていることが確認できる。以上のことから、挿入損を主に決定するのは、TM モードの遷移損であるといえる。

次に、コアの高さが特性に及ぼす影響を調べる。図4にコアの縦横比に対する遷移損と吸収損を示す。 h_{co} の変化に対して、 s_x と L_c のみ、偏波変換が達成される最適値にそれぞれ再設定している。図より、コアの縦横比が大きくなるにつれて、TM モードの遷移損が大幅に減少することがわかる。これは、TM モード界のクラッドへの広がりが減少するためである。一方、TE モードの遷移損と金属による吸収損は、コアの縦横比の変化に対してほとんど変わらず、低いことがわかる。そのため、TM モードの遷移損が減少することによって、損失の合計が低減している。つまり、コアの高さを大きくすることで、挿入損が低減できることがわかる。

3. まとめ

金属ストリップを配置した埋め込み導波路における偏波変換器を提案した。まず、コアの幅 $w_{co} = 400$ nm、高さ $h_{co} = 220$ nm の長方形断面の導波路を考察し、消光比 20 dB 以上、挿入損 3 dB 以上の偏波変換特性が得られることを示した。次に固有モード解析を用いて

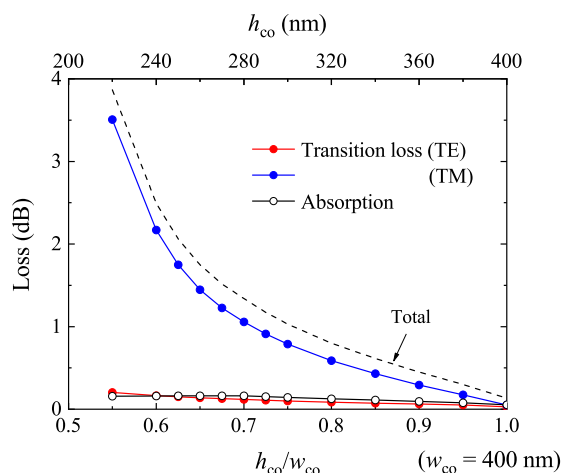


図4 コアの縦横比に対する遷移損と吸収損
($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$)

挿入損の低減を検討した。挿入損を決定するのは主に TM モードの遷移損であることを明らかにした。最後に、コアの高さが特性に及ぼす影響を調査した。コアの縦横比が大きくなるにつれて、TM モードの遷移損が減少し、挿入損が低減されることを見出した。

参考文献

- 1) Z. Wang and D. Dai, "Ultrasmall Si-nanowire-based polarization rotator," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 25, no. 5, pp. 747-753, May 2008.
- 2) Y. Wakabayashi, T. Hashimoto, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Short waveguide polarization converter operating over a wide wavelength range," *J. Lightw. Technol.*, vol. 31, no. 10, pp. 1544-1550, May 2013.
- 3) S.-H. Kim, R. Takei, Y. Shoji, and T. Mizumoto, "Single-trench waveguide TE-TM mode converter," *Opt. Exp.*, vol. 17, no. 14, pp. 11267-11273, Jul. 2009.
- 4) M. Komatsu, K. Saitoh, and M. Koshiba, "Compact polarization rotator based on surface plasmon polariton with low insertion loss," *IEEE Photon. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 707-714, Jun. 2012.
- 5) L. Gao, Y. Huo, J. S. Harris, and Z. Zhou, "Ultra-compact and low-loss polarization rotator based

- on asymmetric hybrid plasmonic waveguide," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 25, no. 21, pp. 2081-2084, Nov. 2013.
- 6) 朝生 龍也, 佐々木 陽太, 石黒 雄大, 山内 潤治, 中野 久松, "強調された増幅係数を用いた Yee 格子型円筒座標虚軸ビーム伝搬法による屈曲導波路解析," 信学論 (C), vol. J102-C, no. 5, 印刷中.
 - 7) 佐々木 陽太, 山内 潤治, 中野 久松, "長方形断面の埋め込み導波路における偏波変換器," 信学ソ大, C-3-12, 2018.
 - 8) 山内 潤治, 佐々木 陽太, 中野 久松, "金属ストリップを装荷した埋め込み型 Si 細線導波路における偏波変換器," 信学論 (C), 投稿中.
 - 9) 佐々木 陽太, 山内 潤治, 中野 久松, "埋め込み導波路における偏波変換器の挿入損低減," 信学総大, 2018.